



Jak brzmi II zasada termodynamiki?

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film samouczek](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Jak brzmi II zasada termodynamiki?

Czy to nie ciekawe?

Rozpędzone sanki zawsze w końcu zatrzymają się (Fot. a.). Ich energia kinetyczna zamieni się wskutek działania siły tarcia na energię wewnętrzną. Na skutek wydzielenia ciepła temperatura sanki i otoczenia nieznacznie wzrośnie. A gdyby tak możliwy był odwrotny proces? Gdybyśmy mogli pobierać z otoczenia ciepło i zamieniać je w całości na pracę? Źródło ciepła stopniowo oziębiało by się, dostarczając pracę mechaniczną. Nie zabrania tego przecież zasada zachowania energii. Rozwiązałoby to w cudowny sposób wszystkie problemy ludzkości z pozyskiwaniem energii! Niestety to niemożliwe i to nie dlatego, że jeszcze nie wymyślono odpowiednich rozwiązań technicznych. Na taki proces nie pozwala II zasada termodynamiki.



Fot. a. Rozpędzone sanki zawsze w końcu zatrzymają się

Twoje cele

- poznasz różne sformułowania II zasady termodynamiki,
- zrozumiesz, że te sformułowania są równoważne,
- dowiesz się, czym jest silnik cieplny i jak obliczyć jego sprawność,
- poznasz warunki, w jakich zgodnie z II zasadą termodynamiki silnik cieplny może działać,
- poznasz pojęcie entropii,
- zrozumiesz, dlaczego entropia w układach izolowanych rośnie.

Przeczytaj

Warto przeczytać

II zasada termodynamiki ma kilka różnych sformułowań. Jest to wynikiem tego, że jej zrozumienie w ciągu lat ewoluowało – były to coraz głębsze interpretacje tej zasady. Przedstawimy pięć sformułowań tej zasady z zachowaniem historycznej kolejności.

W życiu codziennym obserwujesz procesy przebiegające tylko w jednym kierunku. Zupa, która ostygła, przekazując ciepło do otoczenia, nie robi się znów gorąca, pobierając ciepło z otaczającego powietrza. Energia cieplna jest przekazywana zawsze od ciała o wyższej **temperaturze** do ciała o niższej temperaturze. Dzieje się tak dlatego, że układy termodynamiczne składają się z ogromnej liczby molekuł, czyli atomów lub cząsteczek chemicznych. Poruszają się one chaotycznie we wszystkie strony i zderzają ze sobą. Wyższa temperatura to większa średnia energia kinetyczna cząsteczek. Całkowita wymiana ciepła (aż do wyrównania temperatur) oznacza wyrównanie średnich energii kinetycznych molekuł i rozproszenie energii na ogromną liczbę cząsteczek. Właśnie ta niewyobrażalnie wielka liczba molekuł, rzędu 10^{20} w 1 cm^3 otaczającego nas powietrza, jest powodem tego, że przekaz energii cieplnej jest procesem nieodwracalnym. Prawdopodobieństwo tego, że energia cieplna przepłynie od ciała o niższej temperaturze do ciała o wyższej temperaturze jest praktycznie równe zeru i dlatego nigdy się nie zdarza.

Właśnie ta obserwacja stała się podstawą sformułowania II zasady termodynamiki przez Clausiusa w 1850 roku:

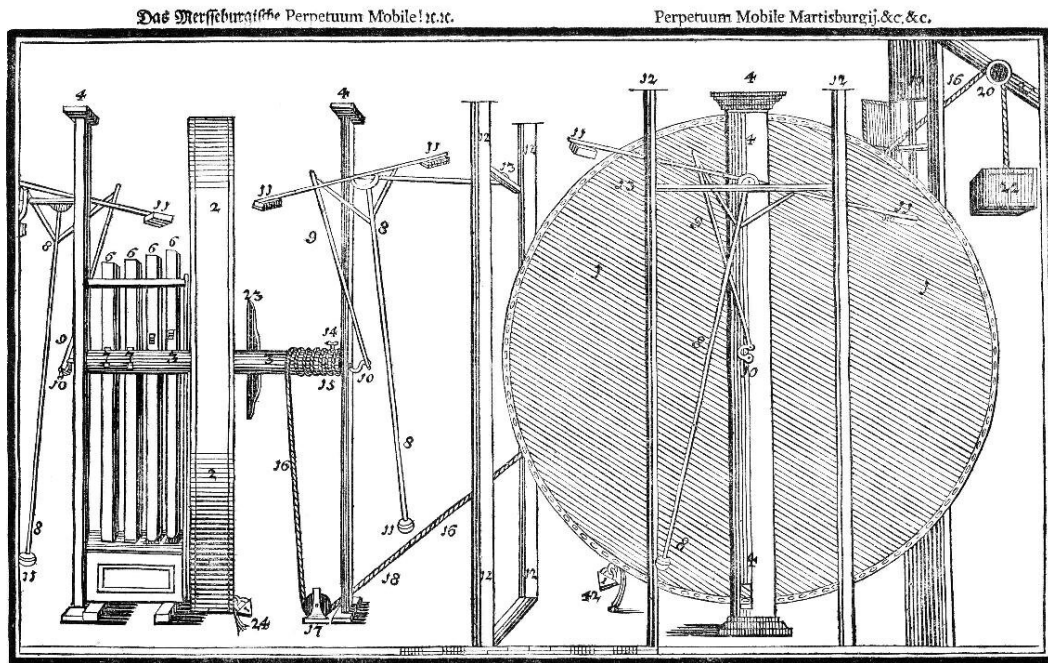
1. **Nie istnieje proces termodynamiczny, którego jedynym wynikiem byłoby pobranie ciepła ze zbiornika o temperaturze niższej i przekazanie go do zbiornika o temperaturze wyższej.**

Inne sformułowanie II zasady termodynamiki w 1851 roku podał Kelvin:

2. **Nie jest możliwy proces, którego jedynym skutkiem byłoby pobranie pewnej ilości ciepła ze zbiornika i zamiana go w równoważną ilość pracy.**

Oba te stwierdzenia są równoważne, bo jeśli chcemy zamienić ciepło na pracę, czyli skonstruować silnik cieplny (o czym mówi drugie sformułowanie), to zgodnie z pierwszym stwierdzeniem musimy dysponować dwoma zbiornikami o różnych **temperaturach**. Ciepło przepływa zawsze ze zbiornika o wyższej temperaturze do zbiornika o niższej temperaturze i tylko część tego ciepła może być zamieniona na pracę. Gdyby całe ciepło pobrane ze zbiornika było zamieniane na pracę, temperatura takiego zbiornika wciąż by się obniżała i ciepło musiałoby płynąć od ciała o niższej temperaturze do ciała o wyższej temperaturze, a tego zabrania pierwsze sformułowanie.

Ludzie od wieków próbowali stworzyć maszynę, która pracowałaby bez dostarczania energii z zewnątrz. Oczywiście takiej maszyny nigdy nie udało się zbudować, bo jej działanie byłoby sprzeczne z zasadą zachowania energii. Takie hipotetyczne urządzenie nazywamy *perpetuum mobile pierwszego rodzaju*.



Rys. 1. Projekt perpetuum mobile [Źródło: [Johann Ernst Elias Bessler \(Orffyreus\)](#) / Public domain]

Perpetuum mobile drugiego rodzaju to silnik cieplny pobierający z otoczenia ciepło, które następnie zamieniane byłoby całkowicie na pracę. Nie jest to sprzeczne z zasadą zachowania energii, ale nie pozwala na to II zasada termodynamiki.

II zasadę termodynamiki możemy więc też sformułować następująco:

3. Nie istnieje perpetuum mobile drugiego rodzaju.

To właśnie prace nad silnikami cieplnymi, czyli urządzeniami zamieniającymi energię cieplną na pracę mechaniczną pozwoliły sformułować II zasadę termodynamiki.

Silnik cieplny to urządzenie pracujące cyklicznie, które pobiera ciepło ze zbiornika o wyższej temperaturze, część tego ciepła zamienia na pracę mechaniczną, a resztę ciepła oddaje do drugiego zbiornika o niższej temperaturze. Sprawność silnika definiujemy jako stosunek pracy W , uzyskanej w jednym cyklu, do pobranego ciepła Q_p ,

$$\eta = \frac{W}{Q_p}. \quad (1)$$

Teoretyczne maksimum sprawności danego silnika cieplnego zależy tylko od temperatur zbiorników, pomiędzy którymi on pracuje, i wynosi

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \quad (2)$$

gdzie T_1 jest temperaturą zbiornika o wyższej temperaturze (zwanego grzejnikiem), a T_2 temperaturą zbiornika o niższej temperaturze (zwanego chłodnicą).

Wzór (2) opisuje sprawność idealnego silnika zwanego silnikiem Carnota (więcej informacji znajdziesz w e-materiale „Cykl Carnota”).

Po przekształceniu wzoru (2) otrzymujemy:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}. \quad (3)$$

Jak widać sprawność silnika jest zawsze mniejsza od jedności, co oznacza, że nigdy całe ciepło pobrane nie może być zamienione na pracę, co jest zgodne z trzecim sformułowaniem II zasady termodynamiki.

Możemy dodać jeszcze jedną postać tej zasady:

4. Sprawność silnika cieplnego jest zawsze mniejsza od jedności.

Jak widzisz, istnieje wiele sformułowań II zasady termodynamiki. Najbardziej ogólne posługuje się pojęciem **entropii**. Entropia to wielkość charakteryzująca stan układu, która określa stopień jego uporządkowania. Stan o większej entropii to stan o mniejszym stopniu uporządkowania (albo większego nieuporządkowania).

Na przykład: jeśli dwa ciała stanowiące układ mają różne temperatury, to stan uporządkowania jest większy niż w przypadku wyrównania temperatur. Temperatura jest miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek. Rozdzielenie cząsteczek o średnio większych energiach kinetycznych od cząsteczek o średnio mniejszych energiach kinetycznych to stan bardziej uporządkowany niż stan o wyrównanych średnich energiach kinetycznych. Tak więc wyrównywanie się temperatur oznacza wzrost entropii układu. Inny przykład: jeśli do naczynia nasypimy warstwę mąki, a na nią warstwę cukru to mamy układ uporządkowany – substancje są rozdzielone. Gdy potrząśniemy naczyniem, mąka i cukier wymieszają się – stan uporządkowania się zmniejszy, a entropia układu wzrośnie.

Zauważ, że w procesach spontanicznych entropia zawsze rośnie. Nie zdarza się, aby w układzie o wyrównanej temperaturze nagle pojawiła się różnica temperatur, albo by na skutek potrząśnięcia mąka i cukier rozdzieliły się na warstwy. Dlatego II zasadę termodynamiki możemy najogólniej sformułować następująco:

5. Entropia w układach izolowanych nigdy nie maleje.

Słowniczek

Temperatura

(*ang.: temperature*) – miara średniej energii kinetycznej cząsteczek, z których składa się ciało.

kelwin (K)

(*ang.: kelvin*) – jednostka temperatury w skali bezwzględnej. 0 K oznacza najniższą teoretycznie możliwą temperaturę, jaką może mieć ciało. Jest to temperatura, w której według fizyki klasycznej ustałyby wszelkie drgania cząsteczek. Przyrost temperatury o 1 K jest tożsamy z przyrostem o 1 °C. Aby otrzymać temperaturę w skali Kelvina (skali bezwzględnej), T , należy do wartości temperatury w skali Celsjusza, t , dodać 273,15.

Film samouczek

Jak brzmi II zasada termodynamiki?

Polecenie 1

Obejrzyj film samouczek, w którym przeanalizujemy, jakie wartości może przybierać sprawność silnika cieplnego. Zwróć uwagę na sposób i wynik przeprowadzonej analizy.

Film dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DEbTW2pAU>

Polecenie 2

Uzasadnij następujące sformułowanie II zasady termodynamiki:
Sprawność silnika cieplnego jest zawsze mniejsza od jedności.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Wskaż prawdziwe stwierdzenie:

- ☐ Nie istnieje silnik cieplny zamieniający całe pobrane ciepło na pracę, ponieważ jest to sprzeczne z zasadą zachowania energii.
- ☐ Nie istnieje silnik cieplny zamieniający całe pobrane ciepło na pracę, ponieważ jest to sprzeczne z II zasadą termodynamiki.
- ☐ Nie istnieje silnik cieplny zamieniający całe pobrane ciepło na pracę, ponieważ postęp technologii nie osiągnął jeszcze odpowiedniego poziomu.

Ćwiczenie 2



Wskaż prawdziwe stwierdzenie:

- ☐ Entropia jest miarą uporządkowania układu. Im wyższe uporządkowanie, tym wyższa entropia.
- ☐ Entropia jest miarą całkowitej energii układu. Im wyższa energia, tym wyższa entropia.
- ☐ Entropia jest miarą uporządkowania układu. Im wyższe uporządkowanie, tym niższa entropia.
- ☐ Entropia jest miarą równowagi panującej w układzie. W stanie równowagi wynosi zero.

Ćwiczenie 3



Uzupełnij zdanie:

Podczas spontanicznych procesów entropia w układach izolowanych /
 , co oznacza, że stopień uporządkowania układu /
 .

Ćwiczenie 4



Silnik cieplny pobiera podczas jednego cyklu ciepło $Q_p = 4000 \text{ J}$ i wykonuje pracę $W = 800 \text{ J}$. Ile wynosi ciepło oddane do chłodnicy podczas jednego cyklu?

Odpowiedź: Ciepło oddane wynosi J

Ćwiczenie 5



Malarz wymieszał na paletce farbę żółtą i niebieską, uzyskując zielony odcień.

Odpowiedz:

a) Jak zmieniła się entropia układu składającego się z palety i farb?

b) Czy proces zmieszania farb jest odwracalny?

Ćwiczenie 6



Oblicz (teoretycznie maksymalną) sprawność typowego silnika spalinowego, używanego przez nas na co dzień, gdy jedziemy samochodem. Typowe temperatury, między którymi pracuje silnik spalinowy, to: $T_1 = 2200 \text{ K}$ i $T_2 = 600 \text{ K}$. Wynik podaj w % z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Odpowiedź: $\eta =$ %.

Ćwiczenie 7



Rzeczywista sprawność silnika spalinowego wynosi około 30%, podczas gdy maksymalna sprawność silnika cieplnego pracującego między temperaturami typowymi dla silników spalinowych osiąga około 70%. Wyjaśnij, dlaczego rzeczywista sprawność jest mniejsza od maksymalnej.

Ćwiczenie 8



Wyobraź sobie, że jesteś inwestorem, do którego zgłasza się wynalazca nowego rodzaju silnika spalinowego. Silnik ma być wykonany z miedzi i chłodzony powietrzem. Wynalazca twierdzi, że sprawność jego silnika osiągnie 85%. Czy zainwestujesz swoje pieniądze w taki wynalazek? Odpowiedź uzasadnij. Temperatura topnienia miedzi wynosi 1356 K.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Jak brzmi II zasada termodynamiki?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa	Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu. VI. Termodynamika. Uczeń: 17) interpretuje drugą zasadę termodynamiki, podaje przykłady zjawisk odwracalnych i nieodwracalnych.
Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	Uczeń: 1. wypowiada różne sformułowania II zasady termodynamiki, 2. wyjaśnia równoważność tych sformułowań, 3. opisuje, czym jest silnik cieplny i objaśnia, jak obliczyć jego sprawność, 4. wymienia warunki, w jakich zgodnie z II zasadą termodynamiki silnik cieplny może działać, 5. definiuje pojęcie entropii, 6. wyjaśnia, dlaczego entropia w układach izolowanych nie maleje.
Strategie nauczania	strategia eksperymentalno-obserwacyjna (dostrzeganie i definiowanie problemów)
Metody nauczania	wykład informacyjny, pokaz multimedialny, analiza pomysłów
Formy zajęć:	praca w grupach, praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	e-materiały „Jak zinterpretować II zasadę termodynamiki?”, „Na czym polegają zjawiska odwracalne i nieodwracalne?”, „Entropia”, „Cykl Carnota”, „Co to jest silnik cieplny?”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Wprowadzenie zgodnie z treścią w części „Czy to nie ciekawe?”. Odwołanie do wiedzy uczniów o wyrównywaniu temperatur.	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel wprowadza dwa sformułowania II zasady termodynamiki podane przez Clausiusa i Kelvina. Uczniowie w dyskusji z pomocą nauczyciela dochodzą do wniosku, że są one równoważne. Nauczyciel opowiada o próbach stworzenia perpetuum mobile, a uczniowie zgłaszają pomysły, z jakimi zasadami fizyki są one sprzeczne. Nauczyciel podaje ogólną zasadę działania silnika cieplnego i wprowadza pojęcie sprawności. Podaje wzór na sprawność maksymalną i tłumaczy dlaczego w świetle II zasady termodynamiki jest ona zawsze mniejsza od 1. Nauczyciel wprowadza pojęcie entropii jako miary uporządkowania układu. Uczniowie w grupach dyskutują, jak zmienia się entropia w przykładowych procesach spontanicznych i dochodzą do prawa wzrostu entropii. Uczniowie oglądają film-samouczek i wykonują powiązane z nim polecenia.

Faza podsumowująca:

Uczniowie w grupach rozwiązują zadanie 6 powiązane z filmem i zadania 7-8 z zestawu ćwiczeń.

Praca domowa:

Obowiązkowo zadania 1-3 i do wyboru 1 z pozostałych zadań z zestawu ćwiczeń.

**Wskazówki metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium**

Film samouczek może być wykorzystany przez uczniów po lekcji do powtórzenia i utrwalenia materiału.